

Ville Pönkä

Dynaamisen laskentatyökalun hyödyntäminen rakennuksen ylälämpenemislaskennassa

Opinnäytetyö
Talotekniikka
Insinööri (AMK)

2018



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Ville Pönkä	Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2018
Opinnäytetyön nimi Dynaamisen laskentatyökalun hyödyntäminen rakennuksen ylilämpenemislaskennassa		
Toimeksiantaja Granlund Saimaa Oy		
Ohjaaja Mika Kuusela		
Tiivistelmä Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin erilaisten aktiivi- ja passiiviratkaisujen vaikutusta rakennuksen kesäaikaiseen yllämpenemiseen. Opinnäytetyössä selvitettiin esimerkkikohteen avulla millä yksittäisillä ratkaisuilla on suurin vaikutus rakennuksen kesäaikaisen huonelämpötilan ja astetuntien muodostumiseen. Esimerkkikohteena toimi 5-kerroksinen asuinkerrostalo, joka oli tämän opinnäytetyön tekovaiheessa toteutussuunnitteluvaiheessa. Esimerkkikohteelle suoritettiin suunnitteluratkaisujen perusteella dynaamisen laskentatyökalu Riuskan avulla E-luvun laskenta, sekä kesäaikaisen yllämpenemisen määräysten mukaisuuden osoittava olosuhdelaskelma. Kesäaikaista yllämpenemistä kuvaavia astetunteja tutkittiin havainnollistamalla erilaisia yllämpenemistä ehkäiseviä tilanteita esimerkkikohteessa. Olosuhdesimulointien tuloksia vertailtiin suunnitteluratkaisujen pohjalta luotuun vertailutapaukseen. Saatujen tulosten perusteella pyrittiin löytämään suunnitteluratkaisusta poikkeava ratkaisu, jolla määräysten mukaisuuteen päästäisiin. Opinnäytetyössä vertailtiin myös normilasilla ja auringonsuojalasilla toteutettujen ikkunalasiratkaisujen materiaalikustannuksia. Rakennus todettiin määräysten mukaiseksi E-luvun, sekä kesäaikaisen yllämpenemisen osalta. Tutkittavien tapauksen osalta suurin yksittäinen vaikuttava tekijä kesäaikaisen yllämpenemisen ehkäisemiseksi esimerkkikohteessa oli sälekaihtimien käyttö. Sälekaihtimilla toteutetulla ikkunalasiratkaisulla huonetilojen korkein lämpötila mitoituspäivänä jäi tutkittavien tapauksien osalta matalimmaksi. Rakennus todettiin määräysten mukaiseksi kesäaikaisen yllämpenemisen osalta myös suunnitteluratkaisusta poikkeavalla ratkaisulla. Kyseisessä ratkaisussa hallintakeinoina oli tuloilman jäähdytys, aurinkosuojatut ikkunalasit sekä ikkunan 200mm sisäänveto. Tulosten perusteella voidaan todeta, että rakennuksen auringonsuojauksella on suuri vaikutus rakennuksen kesäaikaiseen yllämpenemiseen. Mielenkiintoisena jatkotutkimuksena toimisi tässä opinnäytetyössä käytettyjen rakennuksen yllämpenemisen hallintakeinojen kustannuksien laajempi tarkastelu.		
Asiasanat yllämpeneminen, lämpöolot, auringonsuojaus, lämpökuormat, huonelämpötila		

Author (authors)	Degree	Time
Ville Pönkä	Bachelor of engineering	April 2018
Thesis title		32 pages 8 pages of appendices
Examining the summertime overheating of the building		
Commissioned by		
Granlund Saimaa Oy		
Supervisor		
Mika Kuusela		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis was to investigate the effect of different active and passive solutions on summertime overheating of a model building. This thesis also investigated the effect of different active and passive solutions on the model building's summertime room temperatures and formation of the degree hours. The model building was a five-story apartment building. The model building was at the design state during this thesis.</p> <p>The model building was simulated using a dynamic calculation tool Riuska. Based on the results of simulations, the energy consumption and summertime indoor temperatures of the model building were investigated. Summertime overheating of the model building was investigated using degree hours. The temperature simulation was performed to demonstrate the different solutions. Based on the results of temperature simulations, the effect of different solutions was compared to each other. The effect of different solutions on the formation of the degree hours was compared.</p> <p>The E-count and summertime indoor temperatures of the model building was found to be in line with the Finnish building codes. The biggest effect of the shading device solutions to the indoor temperature was with venetian blinds. Based on the results of the simulations, the solar protection solutions in the building have a major impact on summertime overheating.</p>		
Keywords		
overheating, degree hour, room temperature, thermal environment, thermal load		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RAKENNUKSEN LÄMPÖOLOJEN7	7
2.1	Rakennuksen lämpöhäviöt	7
2.2	Rakennuksen lämpökuormat	7
2.2.1	Lämpökuorma ihmisistä, valaistuksesta ja sähkölaitteista	8
2.2.2	Lämpökuorma auringon säteilyenergiasta	8
2.3	Rakennuksen kesäaikainen yllälämpeneminen	10
3	LASKELMAT	10
3.1	E-luvun laskenta	10
3.2	Energiamuotokertoimet.....	14
3.3	Rakennuksen kesäaikaisen huonelämpötilan määräystenmukaisuuden osoittaminen	14
4	RAKENNUSKOHDAT	15
4.1	Yleistä rakennuksesta.....	15
4.2	LVI-järjestelmät.....	16
4.3	Rakennetyypit	18
5	MALLINTAMINEN JA SIMULOINTI	19
5.1	ROOM-mallin luominen	19
5.2	Riuska-olosuhde- ja energiasimulointi	20
6	SIMULOINTIEN TULOKSET	22
6.1	Energiasimulointi	22
6.2	Olosuhdesimulointi	22
7	LÄMPÖOLOJEN HALLINTAKEINOJEN TUTKIMINEN	24
7.1	Hallintakeinojen lähtötietoja	24
7.2	Erilaisten passiivisten ja aktiivisten ratkaisujen vaikutus asetuntien kehitykseen	26
7.3	Vaihtoehtoinen ratkaisu vaatimuksenmukaisuuden osoittamiseksi.....	28
7.4	Ikkunaratkaisujen kustannusten vertailu	28

8	TULOSTEN TARKASTELU JA YHTEENVETO.....	30
---	--	----

LIITTEET

Liite 1. Rakennekortit

Liite 2. Pohjapiirustukset

1 JOHDANTO

Kesäaikainen ylikuumeneminen rakennuksissa on yleinen ongelma, joka tulee huomioida jo rakennusta suunniteltaessa. Rakennuksen kesäaikaisella ylikuumenemisella tarkoitetaan rakennuksen huonelämpötilan haitallista nousua. Rakennuksen tiloihin vaikuttaa erilaisia sisäisiä ja ulkoisia lämpökuormia, joita voidaan hallita erilaisilla passiivisilla ja aktiivisilla hallintakeinoilla. Suurin yksittäinen rakennuksen kesäaikaista huonelämpötilan nousua aiheuttava tekijä on auringon säteilyenergia.[1.]

Ympäristöministeriö asettaa rakennuksen kesäaikaiselle ylikuumenemiselle vaatimuksia, joiden mukaan huonelämpötila ei saa ylittää 150 astetuntia kesäkuun 1. päivän ja elokuun 31. päivän välisenä aikana. Asetusten mukaan rakennuksesta tulee laatia lämpötilalaskelma dynaamisen laskentatyökalun avulla, jolla todetaan rakennuksen kesäaikaisen huonelämpötilan vaatimustenmukaisuus. Lämpötilalaskelma tulee liittää osaksi energiaselvitystä, joka vaaditaan rakennuslupaa haettaessa. Määräykset koskevat suunniteltavia uudisrakennuksia.[2.]

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia erilaisia rakennuksen kesäaikaisen liian korkean huonelämpötilan ehkäiseviä ratkaisuja ja niiden vaikutusta rakennuksen kesäaikaiseen ylikuumenemiseen. Opinnäytetyössä tutkitaan esimerkkikohteen avulla erilaisten aktiivi- ja passiiviratkaisujen vaikutusta huonelämpötilaan ja astetuntien muodostumiseen dynaamisen laskentatyökalun Riuskan avulla. Opinnäytetyössä tutkitaan myös eräiden ikkunalasiratkaisujen materiaalikustannuksia esimerkkikohteelle. Tämän lisäksi esimerkkikohteelle lasketaan E-luku.

Opinnäytetyössä tutustutaan esimerkkirakennuskohteeseen ja sen ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat rakennuksen lämpöolojen muodostumiseen. Opinnäytetyössä kerrotaan liian korkean lämpötilan vaikutuksesta ihmiseen sekä tutustutaan rakennuksen lämpöoloihin ja niiden hallintaan vaikuttaviin tekijöihin. Lisäksi työssä viitataan ympäristöministeriön määräyksiin ja asetuksiin, joita tulee noudattaa energiatehokkuutta koskevien määräysten vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Granlund Saimaa Oy.

2 RAKENNUKSEN LÄMPÖOLOT

Rakennuksen lämpöolosuhteet vaikuttavat ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen, tuottavuuteen sekä myös rakenteiden toimivuuteen. Liian alhainen huonelämpötila aiheuttaa vetoriskejä, kun taas liian korkea huonelämpötila aiheuttaa ihmiselle elimistön lämpötilan nousua. Pidempi altistuminen liian korkealle lämpötilalle aiheuttaa terveysriskejä erityisesti vanhoille ihmisille ja kroonisista sairauksista kärsiville ihmisille. Liian korkean huonelämpötilan suorat vaikutukset työsuoritukseen näkyvät huonelämpötilan noustessa yli 25°C.[3, s.40,42.]

Huonelämpötilan noustessa ihmiset kokevat sisäilman kuivemmaksi ja tunkkaisemmaksi, joten ihmiset kokevat tällöin herkemmin sisäilman laadun olevan heikolla tasolla. Huonelämpötilan alentaminen on hyvä keino aistitun sisäilman laadun parantamiseksi. Huonelämpötilan noustessa myös erilaisten materiaalien epäpuhtauspäästöt kohoavat.[3, s.39-40.]

Rakennuksissa joissa ei ole koneellista jäähdytystä, kohoaa huonelämpötila korkeammaksi ulkoilman lämpötilaan verrattuna sisäisten lämpökuormien ja auringon säteilyenergian johdosta. Ihmiset altistuvat siis liian korkeille lämpötiloille juuri sisätiloissa.[3, s.41.]

2.1 Rakennuksen lämpöhäviöt

Rakennuksen lämpöhäviöllä tarkoitetaan rakennuksen vaipan, ilmanvaihdon ja vuotoilman yhteenlaskettua lämpöhäviötä. Rakennuksen lämpöhäviö on lämpötilaerosta johtuvaa lämpöenergian siirtymistä lämpimästä tilasta lämpötilalta alhaisempaan, esimerkiksi ulkoilmaan päin.[4.] Rakennuksen lämpöhäviölle ja sen laskennalle on annettu määräyksiä ympäristöministeriön julkaisemassa asetuksessa: uuden rakennuksen energiatehokkuus.[2].

2.2 Rakennuksen lämpökuormat

Rakennukseen vaikuttavat sisäiset- ja ulkoiset lämpökuormat. Ulkoisia lämpökuormia aiheuttaa auringon lämpösäteily, joka on suurin yksittäinen rakennuksen kesäaikaiseen huonelämpötilaan vaikuttava lämpökuorma.[1.] Etenkin jos rakennuksessa on suuria ikkunapintoja, rakennukseen vaikuttavat lämpökuor-

mat voivat osoittautua haastaviksi ja joudutaan miettimään ilmanvaihdolla toteutettavan yötuuletuksen tai koneellisen jäähdytyksen toteutusta rakennuksessa.[5.]

2.2.1 Lämpökuorma ihmisistä, valaistuksesta ja sähkölaitteista

Sisäisiä lämpökuormia rakennukseen aiheuttaa ihmiset, valaistus ja laitteet. Laitteista ja valaistuksesta aiheutuva sisäinen lämpökuorma riippuu laitteiden ja valaistuksen määrästä ja niiden tyypistä. Kaikki sähköverkosta otettu teho muuttuu jossain määrin lämmöksi ja lisää näin ollen ilmanvaihdon kuormitusta. Laittevalinnoilla voidaan vaikuttaa syntyviin lämpökuormiin. Ihmisestä tuleva lämpökuorma riippuu ihmisen aineenvaihdunnan tehosta. Normaaaleissa toimisto-olosuhteissa ihmisestä peräisin oleva lämpökuorma on 120 W.[6, s.430.]

Rakennuksen energiatehokkuutta koskevissa vaatimuksenmukaisuuden todentavissa laskennoissa on käytettävä ympäristöministeriön energiatehokkuusasetuksissa esitettyjä taulukkoarvoja sisäisille lämpökuormille. Muissa kuin vaatimuksenmukaisuuden osoittavissa laskennoissa voidaan sisäisille lämpökuormille käyttää ympäristöministeriön energiatehokkuusasetuksissa esitettyjä laskukaavoja.[7. s.31.]

2.2.2 Lämpökuorma auringon säteilyenergiasta

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringosta peräisin oleva säteilyenergia koostuu ikkunoista suoraan rakennuksen sisälle tulevasta, sekä välillisesti ikkunaan absorboituvasta lämpöenergiasta. Näiden yhteisvaikutusta kutsutaan auringon kokonaissäteilyenergiaksi.[7, s.32.]

Dynaamisessa laskennassa käytetään tuntitason laskentatarkkuutta, jolloin auringon kokonaissäteilymäärät ja niiden vaikutus rakennukseen saadaan laskettua tarkemmin. Tässä kappaleessa on esitetty kuukausitasonlaskennassa käytettyjä arvoja auringon säteilyenergialle.[2.]

Taulukossa 1 on esitetty auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille säävyöhykkeellä I (Helsinki-Vantaa). Kokonaissäteilyenergia on jaoteltu taulukossa 1 eri ilmansuunnille kuukausikohtaisesti.[2 s.18.]

Taulukko 1 Auringon kokonaisäteilyenergia

Auringon kokonaisäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin, G _{säteily, pystypinta} , kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	6,2	4,7	3,8	9,5	12,9	9,5	3,8	4,7
Helmikuu	17,3	13,8	15,6	31,0	41,4	30,9	15,6	14,0
Maaliskuu	40,3	38,1	48,5	75,1	89,5	69,4	43,7	36,9
Huhtikuu	43,9	56,3	79,9	101,1	107,3	101,6	80,6	56,8
Toukokuu	57,8	82,1	112,8	123,3	116,0	117,5	104,5	76,3
Kesäkuu	70,6	87,9	109,6	109,9	101,6	110,9	111,2	89,1
Heinäkuu	66,3	91,1	118,8	123,1	115,5	128,6	122,7	91,2
Elokuu	50,0	66,4	91,8	106,0	100,4	92,8	78,8	61,1
Syyskuu	32,9	37,5	56,5	83,9	100,5	87,3	59,3	38,1
Lokakuu	17,9	15,6	17,5	28,3	37,0	30,0	18,8	15,7
Marraskuu	7,2	5,5	5,1	12,3	16,8	12,3	5,1	5,6
Joulukuu	4,2	3,2	2,6	8,4	11,8	8,8	2,9	3,2
Koko vuosi	414,6	502,2	662,5	811,9	850,7	799,6	647,0	492,7

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavasta 1. Laskentaan käytettävät muuntokertoimet ja kokonaissäteilyenergiat ilmansuunnittain ja kuukausittain esitetään ympäristöministeriön julkaisemassa energiatehokkuusasetuksessa.[2.]

$$Q_{aur} = \Sigma G_{säteily, vaakapint} \cdot F_{suunt} \cdot F_{läpäisy} \cdot A_{ikk} \cdot g = \Sigma G_{säteily, pystypint} \cdot F_{läpäis} \cdot A_{ikk} \cdot g \quad (1)$$

jossa

Q_{aur}	Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia [kWh/kk]
$G_{säteily, vaak.}$	Vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia [kWh/(m ² kk)]
$G_{säteily, pysty}$	Vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia [kWh/(m ² kk)]
$F_{suuntaus}$	Muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi
$F_{läpäisy}$	Säätelyn läpäisy kokonaiskorjauskerroin
A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala [m ²]
g	ikkunan auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

2.3 Rakennuksen kesäaikainen yllilämpeneminen

Rakennuksen kesäaikaisella yllilämpenemisellä tarkoitetaan rakennukseen vaikuttavien lämpökuormien johdosta aiheutuvaa kesäaikaista huonelämpötilan nousua. Rakennus tulisi suunnitella ja rakentaa siten, ettei rakennus lämpene haitallisesti.[3.]

Rakennuksen kesäaikaisen yllilämpenemisen hallitsemiseksi on käytettävä ensisijaisesti rakenteellisia tai passiivisia keinoja, sekä tehostettua ilmanvaihtoa. Passiivisilla keinoilla tarkoitetaan esimerkiksi rakennuksen muodon, sijainnin ja suuntauksen, ikkunaratkaisujen tai varjostuksien avulla tapahtuvaa rakennuksen kesäaikaisen yllilämpenemisen hallintaa. Aktiivisilla keinoilla tapahtuvaa yllilämpötilojen hallintaa voidaan toteuttaa esimerkiksi tuloilman jäähdytyksellä, jäähdytyspalkeilla, puhallinkonvektoreilla tai ilmanvaihtoa tehostamalla.[10 s.419.]

3 LASKELMAT

Tässä kappaleessa kerrotaan osana opinnäytetyötä tehtävien laskelmien taustaa ja avataan tärkeimpiä asioita ympäristöministeriön asetuksissa esitetyistä määräyksistä ja ohjeista laskelmiin liittyen.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa energiatehokkuus sanottua:

”Rakennusten energiatehokkuutta koskevien määräysten vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa tulee käyttää uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetussa ympäristöministeriön asetuksessa annettuja lähtöarvoja, laskentasaäntöjä ja sen liitteessä 1. esitettyjä säätietoja sekä kohteen suunnitelluarvoja. Muissa tarkasteluissa voidaan käyttää tässä ohjeessa esitettyjä arvoja, jos muuta tietoa ei ole käytettävissä”.[7, s 4.]

3.1 E-luvun laskenta

E-luku ja sen laskentaan tarvittava rakennuksen vuotuinen energiankulutus saadaan laskettua Suomen ympäristöministeriön julkaiseman ohjeen rakennuksen energiankulutuksesta ja lämmitystehontarpeen laskennasta ja asetuk-

sen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta avulla. E-luku lasketaan säävyöhykkeen 1. säätietojen perusteella. Sää tiedot on esitetty uuden rakennuksen energiatehokkuuden asetuksen liitteessä 1.[7.]

Esitetty menetelmä soveltuu jäähdyttämättömien (tai sellaisten rakennusten, joissa on vain yksittäisiä jäähdytettyjä tiloja) rakennusten energiakulutuksen laskentaan. Käytetty energiatasemenetelmä tarkoittaa sitä, että energian nettotarve lasketaan kuukausittain ja kuukausien summana saadaan rakennuksen energian vuosikulutus. Menetelmää voidaan kuitenkin käyttää myös jäähdytettyjen rakennusten energiankulutuksen laskentaan, kun lämmitys- ja jäähdytys energiat on laskettu dynaamisella laskentaohjelmalla. [7, s.13.]

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta tuli voimaan vuoden 2018 alussa. Asetuksessa annetaan esimerkiksi uudet käyttötarkoitukseluokan mukaiset E-luvun raja-arvot ($\text{kWh}_E/\text{m}^2 \text{ a}$).[2, s.3.]

Taulukossa 2 on esitetty E-luvun raja-arvoja käyttötarkoitukseluokittain. E-luvulla tarkoitetaan energiatehokkuuden vertailulukua, jonka yksikkö on $\text{kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$. Esimerkkikohteen ollessa luokan 2 rakennus, sille annetaan laskennalliseksi energiatehokkuuden vertailuluvun vaatimustasoksi $90\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ [2, s.3.]

Taulukko 2 E-luvun raja-arvoja

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo $\text{kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset: a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on 50–150 m^2 b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 150 m^2 kuitenkin enintään 600 m^2 c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 600 m^2 d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa	200–0,6 A_{netto} 116–0,04 A_{netto} 92 105
Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000 m^2 yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m^2 yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

E-luku lasketaan kaavasta:

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojääh.}} Q_{\text{kaukojääh.}} + \Sigma f_{\text{polttoaine}} Q_{\text{polttoaine}} + f_{\text{säh}} W_{\text{säh}}}{A_{\text{netto}}} \quad (2)$$

jossa:

E	energiatehokkuuden vertailuluku	[kWh/(m ² a)]
Q _{kaukolämpö}	kaukolämmön kulutus vuodessa	[kWh/a]
Q _{kaukojäähdytys}	kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa	[kWh/a]
Q _{polttoaine}	polttoaineen sis. energian kulutus vuodessa	[kWh/a]
W _{sähkö}	sähkön kulutus vuodessa	[kWh/a]
f _{kaukolämpö}	kaukolämmön energiamuotokerroin	
f _{kaukojäähdytys}	kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin	
f _{polttoaine}	polttoaineen energiamuotokerroin	
f _{sähkö}	sähkön energiamuotokerroin	
A _{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²	
[2, s.5.]		

Tarvittavat ohjeet ja määräykset kaukolämmön-, kaukojäähdytyksen-, sähkön- ja polttoaineen sisältämän energiankulutuksen vuotuisen laskemiseen löytyvät ympäristöministeriön julkaisemista materiaaleista, energiatehokkuus: rakennus energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, sekä asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.[2;7].

3.2 Energiamuotokertoimet

Taulukossa 3 on esitetty valtioneuvoston asetuksessa määritetyt, tammi-kuussa 2018 voimaan tulleet energiamuotokertoimet. Energiamuotokertoimien päämäärä on ohjata rakentamista kohti energiatehokkaampaa suuntaan.[11.]

Taulukko 3 Energiamuotokertoimet

Energiamuotokertoimien lukuarvot	
Sähkö	1,20
Kaukolämpö	0,50
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,00
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,50

3.3 Rakennuksen kesäaikaisen huonelämpötilan määräystenmukaisuuden osoittaminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta antaa rakennuksen laskennalliselle kesäaikaiselle huonelämpötilalle vaatimuksia:

” Laskennallinen kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa 27 celsiusastetta käyttötarkoitukseluokassa 2 enemmän kuin 150 astetuntia kesäkuun 1.päivän ja elokuun 31.päivän välisenä aikana suunnitteluratkaisun mukaista ilmastusta käyttäen. Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuus on osoitettava eri tilatyypin lämpötilalaskennalla. Laskennassa on käytettävä ilmastusta lukuun ottamatta E-luvun laskennan mukaisia lähtötietoja. Kesäajan huonelämpötilan laskennassa on käytettävä dynaamista laskentatyökalua. ” [2, s.14.]

Astetunnilla (°Ch) tarkoitetaan annetun raja-arvon ylittävän lämpötilan(°C) ja ajan(h) tuloa. [4]. Esimerkiksi jos rakennusluokan 2. rakennuksessa huonelämpötila on 2 tunnin ajan 29°C tällöin syntyy 4 astetuntia.

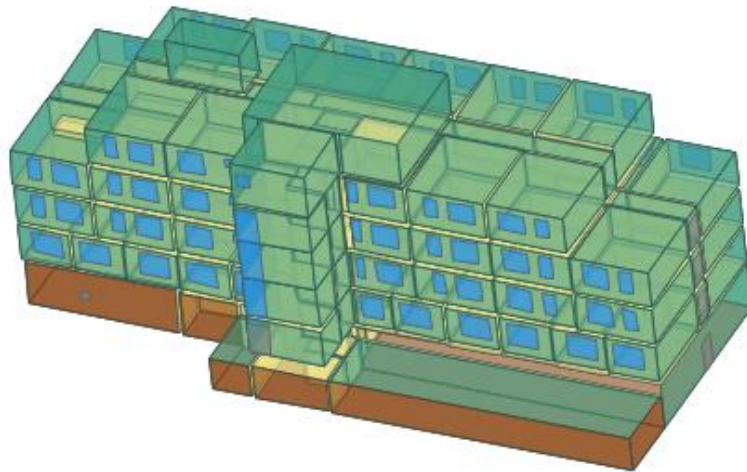
4 RAKENNUSKOHDE

Tässä luvussa kerrotaan esimerkkirakennuksen perustietoja ja sen LVI-järjestelmän tietoja, jotka vaikuttavat tämän opinnäytetyön osana tehtävien energia- ja olosuhdesimuloinnin luomiseen.

4.1 Yleistä rakennuksesta

Esimerkkirakennus on asuinkerrostalo, jossa on myös palveluasuntotoimintaa. Kyseinen rakennus on uudisrakennus, joka on tämän opinnäytetyön tekemisen aikana toteutussuunnitteluvaiheessa. Liitteessä 2 on esitetty esimerkkirakennuksen pohjapiirustukset. Suunnitteluvaiheen muutoksista johtuen pohjapiirustuksissa on pieniä eroavaisuuksia niihin pohjapiirustuksiin, mitä tässä opinnäytetyössä luodun tilamallin luomiseen käytettiin. Eroavaisuutena pohjapiirustuksissa on pienemmän ilmanvaihtokonehuoneen sijainti, sekä hätäuloskäynti rakennuksen toisessa päädyssä.

Suunniteltava rakennus sijaitsee Lappeenrannassa. Rakennuksen kokonaisala on 3166m^2 ja kokonaistilavuus on 8764m^3 . Rakennuksen kellarikerroksessa sijaitsee autohalli, valmistuskeittiö, ruokala sekä muita yleisiä tiloja. Rakennuksen kerroksissa 1...4 on asuntoja, sekä ullakkokerroksessa sijaitsee ilmanvaihtokoneiden konehuoneet. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksesta luotu kolmiulotteinen malli.



Kuva1. Rakennuksen 3D-malli MagiCAD ROOM-mallinnusohjelmassa, julkisivu pohjoiseen

Taulukossa 4 on esitetty kiinteistössä sijaitsevien asuinhuoneiden jakauma. Asuntoja rakennuksessa on yhteensä 62kpl.

Taulukko 4 Asuintilojen jakauma

Asuinhuoneet	Pinta-ala (m ²)	Lukumäärä rakennuksessa
Tehostetut palveluasunnot	21,0	19
Palveluasunnot, tyyppi A	28,5	18
Palveluasunnot B	33,0	14
Asunnot A	32,0	6
Asunnot B	33,0	5

4.2 LVI-järjestelmät

Kiinteistön lämmönlähteenä on kaukolämpö. Kiinteistö liitetään Lappeenrannan energialaitoksen kaukolämpöverkostoon, ja kaukolämmön alajakokeskus sijoitetaan lämmönjakohuoneeseen rakennuksen kellarikerrokseen. Lämmönjako kiinteistössä toteutetaan vesikiertoisella lattialämmityksellä. Lämpöjohdot eristetään suunnitelmien mukaisesti.

Rakennus liitetään paikallisen vesihuoltolaitoksen vesijohto- ja jätevesiviemäriverkostoon. Käyttöveden lämmitys toteutetaan omalla lämmönsiirtimellä, joka sijoitetaan alajakokeskukseen. Lämpimän käyttöveden eristystaso on 1,5D. Rakennus varustetaan lämpimän veden kiertojohdolla ja sen eristystaso on 1,5D. Kiertojohdon pituutta ei ole tiedossa.

Sadevedet johdetaan paikallisen vesihuoltolaitoksen sadevesijärjestelmään. Perusvedet johdetaan suunnitellusti perusvesikaivon ja padotusventtiilin kautta vesihuoltolaitoksen sadevesijärjestelmään.

Lämmönsiirtimien mitoitusulkolämpötilan mukaiset veden lämpötilat on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5 Lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat

Järjestelmä	Ensiö t (°C)	Toisio t (°C)
Ilmanvaihdon lämmitysverkosto	115/33	60/30
Lattialämmitysverkosto	115/33	30/45
Käyttövesi	70/20	10/58

Rakennusta palvelee yhteensä viisi ilmanvaihtokonetta. Ilmanvaihtokoneet sijoitetaan ullakkotilan konehuoneisiin. Asuntoja palvelevat ilmanvaihtokoneet varustetaan ilmanvaihtokoneeseen integroitavilla jäähdytysyksiköillä. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty ilmanvaihtokoneiden tietoja.

Taulukko 6 Ilmanvaihtokoneiden perustietoja

IV-kone	Palvelee	Tyyppi	LTO-tyyppi
TK01	yhteistilat	muuttuvailmavirt.	vastavirtalevylämmönsiirrin
TK02	2-4krs.asunnot	vakioilmavirtainen	vastavirtalevylämmönsiirrin
TK03	1krs.asunnot	vakioilmavirtainen	vastavirtalevylämmönsiirrin
TK04	autohalli	muuttuvailmavirt.	pyörivä
TK05	keittiö	suutinkonvektori	nestekierto

Ilmanvaihtojärjestelmä toteutetaan keskitetyllä tulo-poistoilmanvaihdoilla. Ilmanvaihdoilla ei tehostusta. Ilmanvaihtokoneiden sähkötehokkuusluku (SFP) ei saa ylittää arvoa 1,8 ja koko kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhteen on oltava yli 60%. Jäteilman minimilämpötilaksi määritettiin +5°C.

Taulukko 7 Ilmanvaihtokoneiden perustietoja

IV-kone	Tulo ilmavirta (m³/s)	SFP kW/(m³/s)	Käyttöaika (h/a)	Aikataulu	Lämpötilahyötysuhde (%)
TK01	0,40	1,80	8760	ma-su 24h	73
TK02	1,60	1,79	8760	ma-su 24h	81
TK03	1,11	1,76	8760	ma-su 24h	73
TK04	0,36	1,80	8760	ma-su 24h	73
TK05	0,90	1,76	4015	ma-su 07-18	70

4.3 Rakennetyypit

Taulukossa 8 on esitetty ne rakennesuunnittelijan ilmoittamat suunnitelmien mukaiset rakenteelliset ratkaisut ja niiden todelliset U-arvot, jotka vaikuttavat rakennuksen lämpöhäviön muodostumiseen. Liitteessä 1 on esitetty taulukon 8 rakenteiden materiaalit. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku $q_{50}=1,2\text{m}^3/(\text{h m}^2)$.

Taulukko 8 Rakenteelliset ratkaisut esimerkkikohteessa

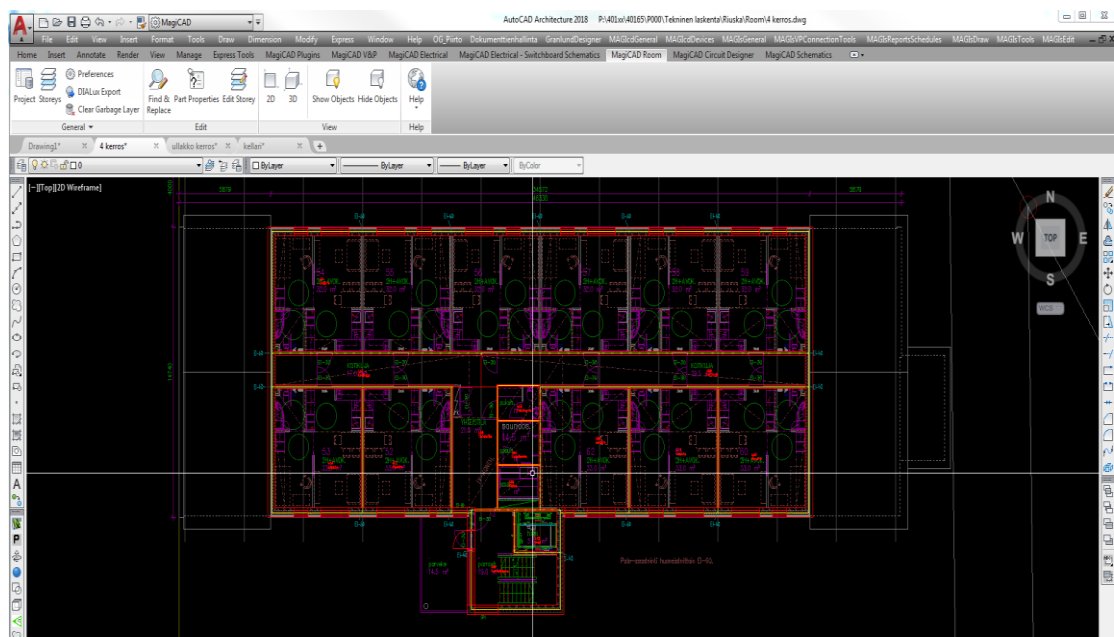
<u>Alapohjarakenteet</u>		
Rakenne	Lyhenne	U-arvo (W/m ² K)
Alapohjat, yleensä	AP1	0,15
Alapohjat, kosteat tilat	AP2	0,15
Alapohjat, väestönsuoja	AP3	0,24
Alapohja, autohalli	AP4	0,2
<u>Yläpohjarakenteet</u>		
Rakenne	Lyhenne	U-arvo (W/m ² K)
Yläpohjat, yleensä	YP1	0,09
Yläpohjat, kylpyhuoneet	YP2	0,09
Yläpohjat, IV-konehuone	YP4	0,14
Yläpohjat, autohalli rak. ulkop	YP5	0,14
<u>Ulkoseinärakenteet</u>		
Rakenne	Lyhenne	U-arvo (W/m ² K)
Ulkoseinät, muuraus	US1	0,17
Ulkoseinät, paneelipintaiset	US2	0,17
Ulkoseinät, pohja krs. sandwich	US3	0,17
Ulkoseinät, kerrosten pitkät sivut	US4	0,16
Ulkoseinät, väestönsuoja	US5	0,17

5 MALLINTAMINEN JA SIMULOINTI

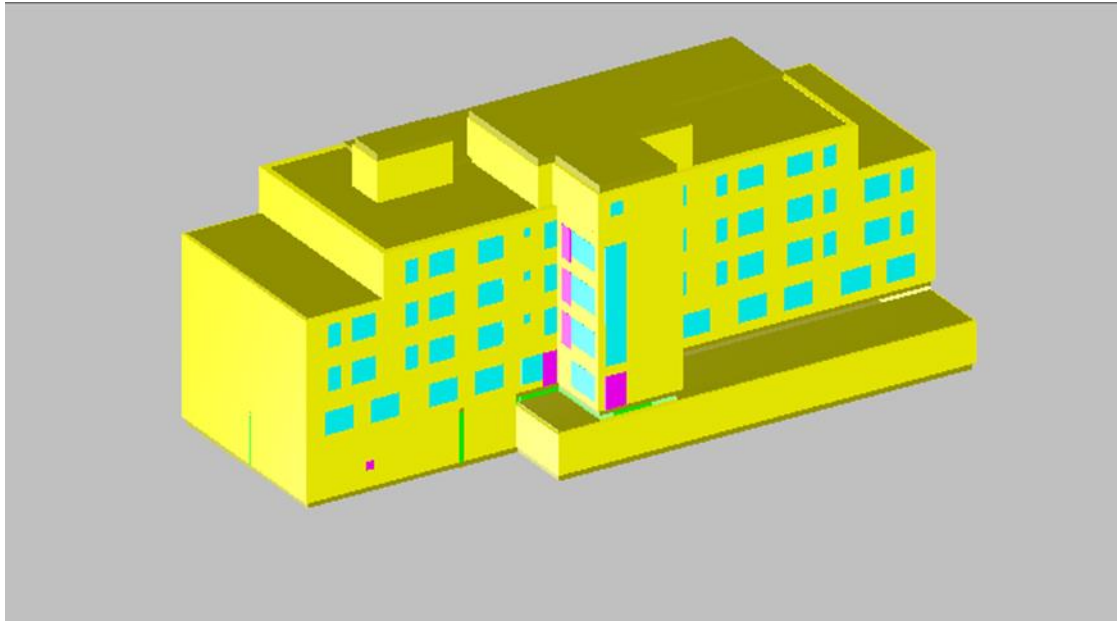
5.1 ROOM-mallin luominen

Tutkimustyö aloitettiin MagiCAD-Room-sovelluksen avulla luotavan rakennuksen tilamallin luomisella. Tässä opinnäytetyössä ei syvennyttä MagiCAD-Room ohjelman käyttöön yksityiskohtaisesti.

Kohteesta oli käytettävissä arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat. Tilamallin luomiseen käytettiin rakennuksen ja rakennusosien todellisia tietoja. Kuvassa 2 rakennukselle luotiin tilamallia MagiCAD-Room-sovelluksen suunnittelutilassa. Rakennukselle määritettiin arkkitehtipiirustuksien perusteella ulkoseinät, väliseinät, ikkunat ja ovet. Syötettyjen korko- ja kerroskorkeustietojen perusteella ohjelmalla luotiin 3D-tilamalli, jota pystyttiin tarkastelemaan 365°-näköymästä. Tilamalli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 2 MagiCAD Room-ohjelmisto 2D-suunnittelutilassa.

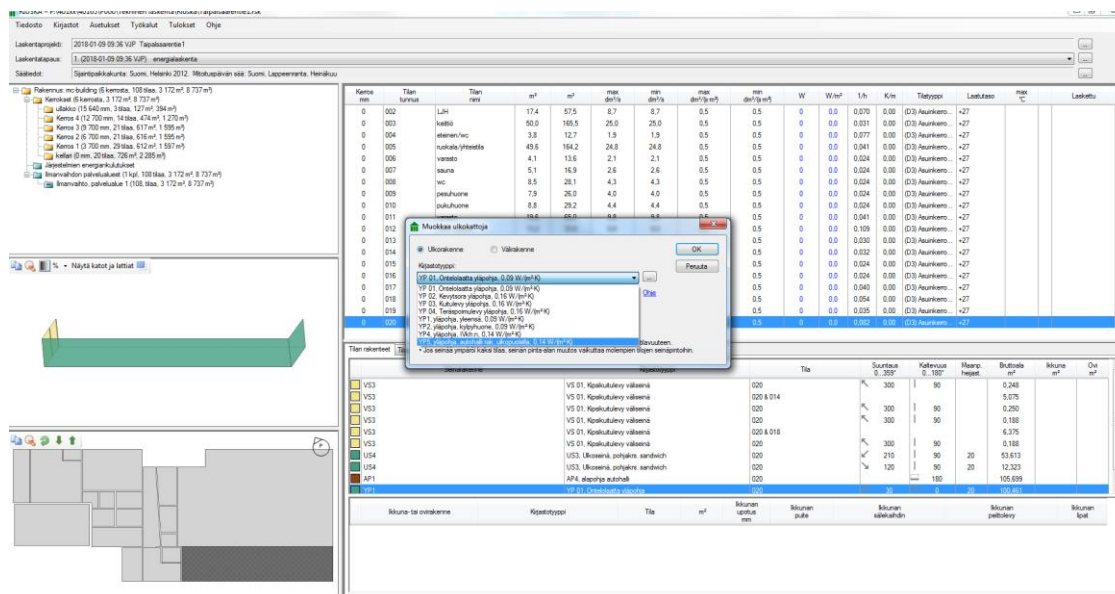


Kuva 3 Rakennuksesta luotu kolmiulotteinen tilamalli.

5.2 Riuska-olosuhde- ja energiasimulointi

Tässä opinnäytetyössä tehtävään energia- ja olosuhdesimulointiin käytettiin Granlund Oy:n luomaa olosuhde- ja energiasimulointiohjelmistoa Riuskaa, joka laskee rakennuksen tietomallin avulla tutkittavan rakennuksen tai tilan lämpötekniisen käyttäytymisen erilaisissa kuormitus ja sääolosuhteissa. Ohjelman avulla pystytään laskemaan vuotuinen energiankulutus, tilojen huonelämpötilat, ja lämmitys- ja jäähdytystarpeet.[8.]

Aiemmin luotu ROOM-tilamalli tuotiin IFC-muodossa RIUSKA-ohjelmistoon, jonka jälkeen aloitettiin energiasimuloinnin luominen rakennuksen sijainnin, suuntauksen ja rakennustyyppin määrittämisellä. Talotekniikka huomioitiin suunnitelmien mukaisena. Rakennuksen suunnitteluratkaisujen mukaiset yläpohja-, alapohja-, ulkoseinäratkaisut syötettiin ohjelmistoon ja määritettiin arkitehdin julkisivu- ja leikkauspiirustuksia perusteella millainen rakenne missäkin rakennuksen kohdassa oli. Rakennusvaipan ilmanvuotoluvuksi määritettiin lähtötietojen mukainen $1,2\text{m}^3/(\text{h m}^2)$. Kuvassa 4 ohjelmistoon syötettiin määräysten mukaisesti lähtöarvoja, joita on käytettävä kun osoitetaan rakennuksen vaatimustenmukaisuutta.

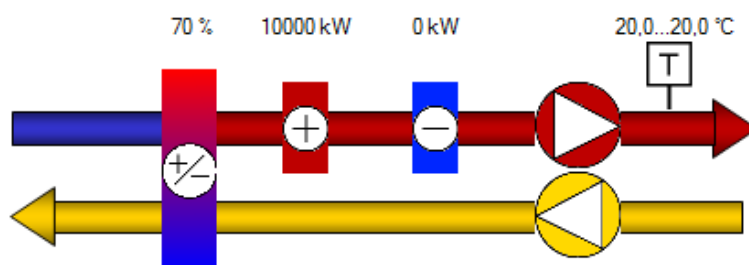


Kuva 4 Näkymä Riuska -ohjelmistosta

Ilmanvaihtokoneiden palvelualueiden määrittämisessä RIUSKA-ohjelmistoon käytettiin ilmanvaihtosuunnittelijan suunnitteluratkaisuja. Käytännössä kunkin ilmanvaihtokoneen toimialueen alaiseksi valittiin huonetilat, jotka selvisivät ilmanvaihtosuunnittelijan laatimasta palvelualue-suunnitelmasta.

Ilmanvaihtosuunnittelijan laatimien suunnitelmien ja ilmanvaihtokoneajojen perusteella määritettiin ilmanvaihtokoneiden ominaisuudet RIUSKA-ohjelmistoon. Kuvassa 5 RIUSKA-ohjelmistoon syötettiin ilmanvaihtokoneiden tietoja.

Järjestelmätyyppi:	Suutinkonvektori	...
Aikataulu:	116. [4015h, 0/100%] IV: ma-su 07-18	...
Yötuuletus/jäähdytys:	<Ei määritetty>	...
Vapaajäähdytys:	<Ei määritetty>	...
LCC – Elinkaari-kustannukset:		...



Kuva 5 Keittiön ilmanvaihtokoneen määrittäminen RIUSKA-ohjelmistoon

Ikkunatyypeiksi valittiin suunnitelmien mukaiset perusmallin kolmelasiset ikkunat, joiden U-arvo oli $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ja g-arvo 0,5. Sälekaihtimet sijoitettiin kolmelasisen ikkunan uloimpaan väliin. Tällöin sälekaihtimien varjostusaste oli 70% ja peittoaste 100%. Ulko-ovien U-arvoksi määritettiin $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Rakennuksen energiankulutus-kohtaan määritettiin järjestelmäkohtaiset tiedot Suomen rakennusmääräyskokoelman uuden rakennuksen energiatehokkuusasetuksen mukaisesti. Tässä vaiheessa oli erityisen tärkeää syöttää tiedot nykyisten, vuoden 2018 alussa voimaan tulleiden määräysten mukaisesti.

6 SIMULOINTIEN TULOKSET

Esimerkkikohteelle suoritettiin energia- ja olosuhdesimuloinnit rakennuskohteen suunnitteluratkaisujen perusteella. Tulokset vietiin excel-muotoon, joka selkeytti tulostentarkastelua.

6.1 Energiasimulointi

Energiasimuloinnin tuloksena saatiin rakennuksen ostoenergiantarve eriteltynä, sekä E-luku. Lämmitysenergian ostoenergian tarve esimerkkikohteelle oli 183,9MWh ja sähköenergian ostoenergia oli 132,4 MWh vuodessa. Näin ollen E-luvuksi saatiin kaavalla 2:

$$E = \frac{183900 \text{ kWh} \cdot 0,5 + 132400 \text{ kWh} \cdot 1,2}{3166,2 \text{ m}^2} = 79,22 \approx 80 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a}) \quad (2)$$

Rakennuksen ollessa käyttötarkoitukseluokan 2 rakennus sille annetaan E-luvun raja-arvoksi $90 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$. [2, s.3]. Rakennus täyttää määräyksien asettamat vaatimukset E-luvun osalta.

6.2 Olosuhdesimulointi

Olosuhdesimulointi esimerkkikohteelle suoritettiin ympäristöministeriön julkaisemien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Ensimmäisen olosuhdesimuloinnin tuloksena saatiin jokaiselle huonetilalle astetuntimäärä, jonka perusteella valittiin lämpötilojenhallinnan kannalta vaikein asunto ja palveluasunto. Vaikeimmiksi tiloiksi valittiin ne tilat joiden astetuntimäärät olivat suurimmat.

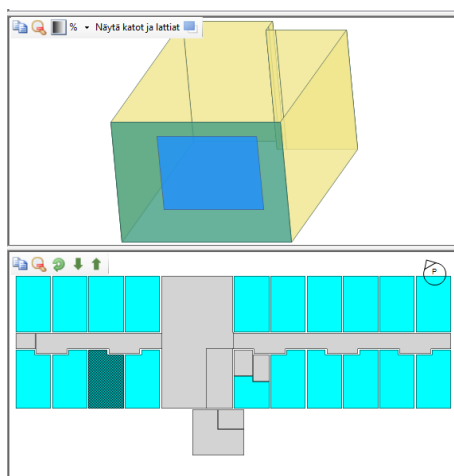
Valittujen vaikeimpien tilojen ilmamääräksi määritettiin ilmanvaihtosuunnitelmien mukaiset ilmamäärät, asuinhuoneelle (AH102) $\pm 20 \text{ l/s}$ ja asunnolle (As349) $\pm 30 \text{ l/s}$. Muutoin laskennassa käytettiin ilmanvaihdon suunnitteluratkaisun mukaisia tietoja. Tämän jälkeen suoritettiin lopullinen olosuhdesimulointi.

Olosuhdesimuloinnin tuloksien perusteella tarkasteltiin lämpöolosuhteita valituissa tiloissa ja sitä täyttävätkö lämpöolot vaatimuksenmukaisuuden. Rakennusta mahdollisesti ympäröivää varjostusta aiheuttavia tekijöitä ei tässä tapauksessa otettu huomioon. Seuraavissa taulukoissa 9 ja 10, sekä kuvissa 6 ja 7 on esitetty rakennuksen tutkittavan asunnon ja asuinhuoneen tietoja. Huonetilat sijaitsivat rakennuksen ensimmäisessä (AH102) ja kolmannessa (As349) kerroksessa.

Tutkittavissa huonetiloissa huonelämpötila ei ylitä missään olosuhteissa määräystenmukaista 27°C rajaa.[2, s.14]. Aстетunteja ei tässä tapauksessa siis synny lainkaan, koska suunnitteluratkaisuilla huonelämpötilan 27°C ylitys ei toteudu tarkastelujakson aikana. Tällöin voidaan todeta rakennus vaatimuksenmukaiseksi kesäaikaisen yllämpenemisen osalta.

Taulukko 9 Asuinhuone 102

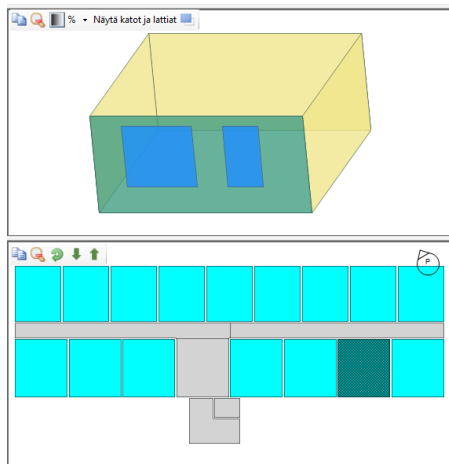
Tilantunnus	Pinta-ala (m ²)	Tilavuus (m ³)	Ilmavirta (dm ³ /s m ²)	ikkuna pinta-ala (m ²)	Korkein lämpötila (°C)
102	21	54,7	1	3,376	26,7



Kuva 6 Asuinhuone 102

Taulukko 10 Asunto 349

Tilantun- nus	Pinta-ala (m ²)	Tilavuus (m ³)	Ilmavirta (dm ³ /s m ²)	Ikkuna pinta-ala (m ²)	Korkein lämpö- tila (°C)
349	33,3	85,7	0,9	4,352	26,0



Kuva 7 Asunto 349

7 LÄMPÖOLOJEN HALLINTAKEINOJEN TUTKIMINEN

Tässä kappaleessa tutkitaan esimerkkikohteelle tehtyjä olosuhdesimulointeja. Simulointien avulla pyrittiin havainnollistamaan tietynlaisen ratkaisumallin vaikutusta rakennuksen kesäaikaiseen huonelämpötilaan ja astetuntien muodostumiseen.

7.1 Hallintakeinojen lähtötietoja

Vertailutapauksena tutkimuksessa käytettiin esimerkkikohteen suunnitteluratkaisusta muokattua tilannetta. Vertailutapauksena käytettiin tilannetta, jossa simuloitavien huoneiden lämpökuormien suojauskeinoista oli karsittu mahdollisimman paljon, kuitenkin siten, että suunnitteluratkaisujen mukaiset ikkunat lasiratkaisuineen ilman sälekaihtimia jäivät mallihuoneisiin. Tilanne poikkeaa suunnitteluratkaisusta myös siten, että vertailutapauksessa ilmanvaihtokoneen jäähdytysyksikkö poistettiin, eli tuloilmaa ei jäähdytetty.

Vertailutapauksessa käytetty ikkunalasi oli suunnitteluratkaisun mukainen perusmallin kolmelasinen ikkuna, jonka U-arvo oli 1,0 W/(m² K) ja g-arvo 0,5. Auringonsuojalasilla toteutetussa simuloinnissa käytetty auringonsuojalasi oli tyyppiä suncool 70-35, U-arvo 0,7 ja g-arvo 0.33. Sälekaihtimien simulointita-

pauksessa sälekaihtimille määritettiin suunnitteluratkaisun mukainen varjostusaste 70% ja peittoaste 100%. (3-lasinen ikkuna, jossa sälekaihtimet sijoitettu uloimpaan väliin.)

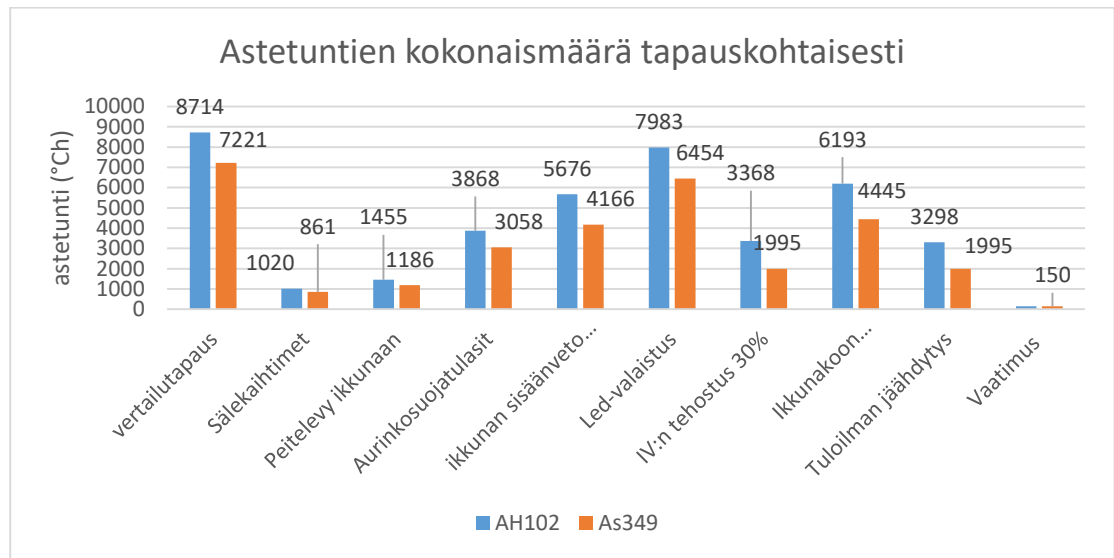
Tapauksessa peitelevyt ikkunoissa pyrittiin havainnollistamaan tilannetta, jossa ikkunaa suojataan auringon lämpösäteilyltä ulkopuolisella säleiköllä. Säleikön varjostusaste oli 50% ja peittoaste 100%. Ikkunan sisäänveto tapauksessa havainnollistettiin tilannetta, jossa ikkuna oli toteutettu 200mm sisäänvedolla, muodostaen varjostuksen rakennukseen. Ikkunakoon pienentämistä tutkiessa ikkunan pinta-alaa pienennettiin -20% simulointia varten.

Simuloinneissa käytettiin valaistuksesta johtuvalle lämpökuormalle arvoa 4 W/m². Arvo perustuu aiemmin toteutettuihin esimerkkikohteen (asuinrakennus) kaltaisiin valaistussuunnitelmiin.[9.]

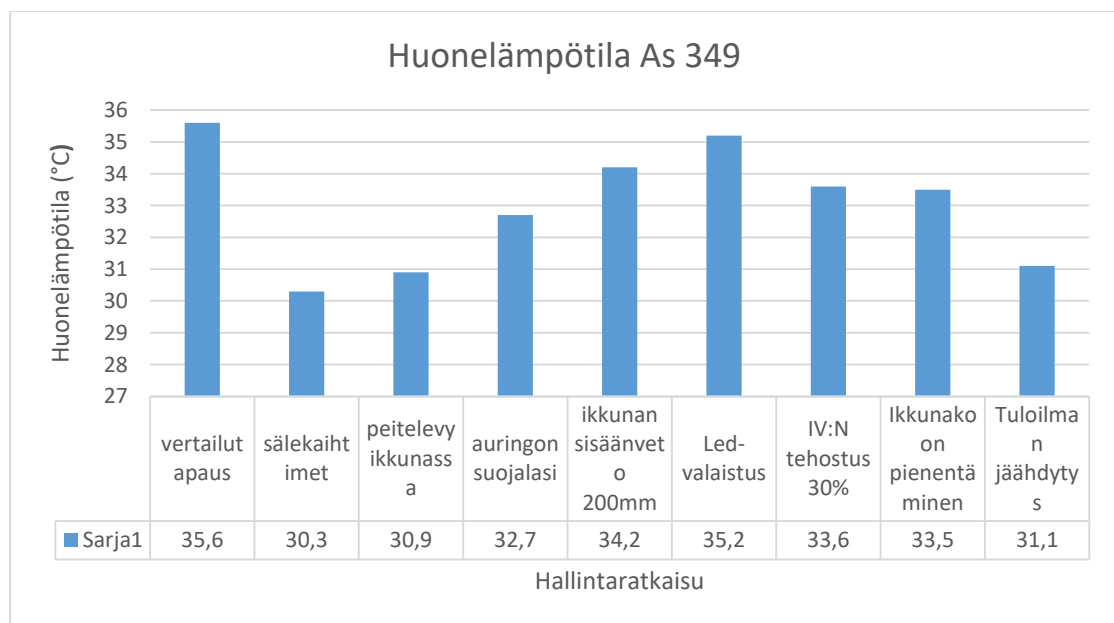
Ilmanvaihdon vaikutusta astetuntien muodostumiseen tutkittiin tapauksien avulla, joissa toisessa tuloilmaa jäähdytettiin ilmanvaihtokoneeseen integroitavalla jäähdytysyksiköllä ja toisessa tapauksessa ilmamääriä tutkittavissa tiloissa suurennettiin +30%.

7.2 Erilaisten passiivisten ja aktiivisten ratkaisujen vaikutus astetuntien kehitykseen

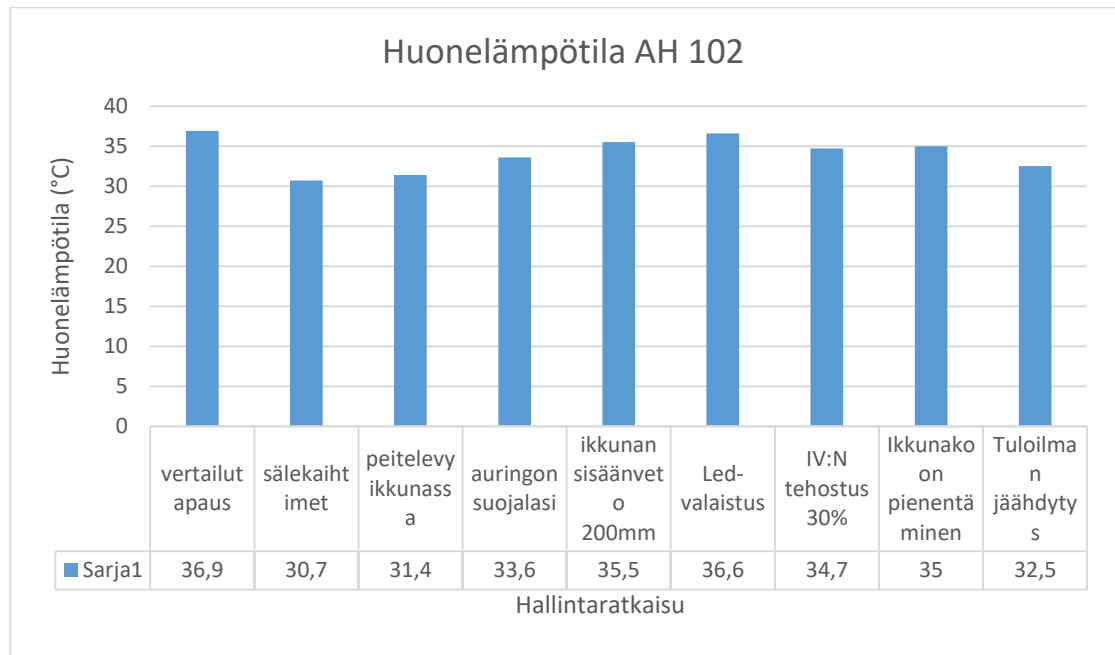
Kuvassa 8 on esitetty tapauskohtaisesti astetuntien määrä tutkittavissa tiloissa. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty asunnon 349 ja asuinhuoneen 102 korkeimmat lämpötilat mitoituspäivänä tapauskohtaisesti.



Kuva 8 Olosuhdesimulointi, astetuntien kokonaismäärä tarkastelujakson aikana



Kuva 9 Olosuhdesimulointi, korkein huonelämpötila mitoituspäivänä



Kuva 10 Olosuhdesimulointi, korkein huonelämpötila mitoituspäivänä

Kuten edellä esitetystä kuvasta 8 voidaan todeta, passiivisista keinoista sälekaihtimilla saadaan astetuntien määrää karsittua varsin tehokkaasti. Myös tutkitavan tilan maksimi huonelämpötila mitoituspäivänä oli pienin sälekaihtimilla toteutetussa olosuhdesimuloinnissa.

Tutkimuksien perusteella myös auringonsuojalasilla toteutettu ikkunaratkaisu olisi harkittava vaihtoehto. Auringonsuojalasin ehdottomasti suurin vahvuus vertaillen tutkimuksessa muihin auringonsuojaratkaisuihin on se, että se päästää lävitse luonnonvaloa parhaiten. Tämä taas lisää asumisviihtyvyyttä esimerkiksi vähentämällä valaistuksen käyttöä rakennuksessa.[10.]

Aktiivisista keinoista tuloilman jäähdytyksellä saatiin astetuntien kannalta paras tulos. Todellisuudessa tuloilman jäähdytyksen lisääminen ilmanvaihtokoneeseen toisi lisäkustannuksia, mutta esimerkiksi ilmamäärien 30% suurentamiseen verrattuna se olisi vaihtoehtona toteutuskelpoisempi, sillä kanavakoot eivät kasvaisi, vaikka kanavointien eristys täytyisi suunnitella tarkoin ratkaisusta riippuen.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että jos rakennuksen valaistus toteutettaisiin Led-valaistuksella, se vaikuttaisi vähäisesti myös astetuntien kertymiseen pienentämällä syntyvää sisäistä lämpökuormaa. Millään tutkimuksessa

käytetyllä yksittäisellä ratkaisulla ei esimerkkikohteessa päästy alle vaatimustenmukaiseen 150 astetuntiin, joten erilaisten ratkaisujen yhdistelmä tulisi kyseeseen tässä tilanteessa.

7.3 Vaihtoehtoinen ratkaisu vaatimuksenmukaisuuden osoittamiseksi

Olosuhdesimulaatioiden perusteella tutkittiin, millaisilla kohdan 6.2 suunnitteluratkaisuista poikkeavilla ratkaisuilla astetuntivaatimus täytettäisiin. Astetuntien kertymistä tutkittiin valitsemalla molemmille tutkittaville mallihuoneille hallintakeinoiksi tuloilman jäähdytyksen, auringonsuojalasit sekä ikkunan 200mm sisäänvedon. Tutkittaville tiloille saatiin seuraavat taulukon 11 mukaiset tulokset.

Taulukko 11 Vaihtoehtoisilla ratkaisuilla toteutetun olosuhdesimuloinnin tulokset

Tila	Astetuntia (°Ch)	Korkein huonelämpötila mitoituspäivänä (°C)
As349	0,2	27,3
AH102	25,6	28,1

Tulosten perusteella voidaan todeta, että vaatimustenmukaiseen alle 150 astetuntiin päästään myös kyseisillä ratkaisuilla esimerkkikohteessa.

7.4 Ikkunaratkaisujen kustannusten vertailu

Tässä kappaleessa tutkitaan ja vertaillaan kahden eri ikkunaelementtiratkaisun kustannuksia esimerkkikohteen avulla. Vertailussa käytetyt tiedot ovat peräisin SelOy:n ikkunalasien asiantuntijan laatimista laskelmista ja kommentista. Tutkimuksessa esitetään SelOy:n määrittämät materiaalikustannukset tavalliselle lasielementille, sekä auringonsuojalaselementille ja vertaillaan niitä keskenään. [10.] Taulukossa 12 on esitetty ikkunaelementtien rakenteet, jotka on pyritty toteuttamaan mahdollisimman samankaltaisiksi ominaisuuksiltaan, kuin mitä olosuhdesimuloinneissa käytettiin.

Taulukko 12 Ikkunaelementtien rakenne

<u>Normilasi</u>	<u>Auringonsuojalasi</u>
tyyppi: S3K6/6/6 – 12 TPS ARGON	tyyppi: S3K6SUN70/35/6/6 – 12 TPS ARGON
• uloin lasi 6 mm float	• uloin lasi 6 mm Suncool 70/35
• 12 mm TPS-välilista	• 12 mm TPS-välilista
• keskilasi 6 mm S1N-selektiivi	• keskilasi 6 mm S1N-selektiivi
• 12 mm TPS-välilista	• 12 mm TPS-välilista
• sisin lasi 6 mm S1N-selektiivi	• sisin lasi 6 mm float
<ul style="list-style-type: none"> - täyttökaasua argon molemmissa väleissä - U-arvo 1,0 g-arvo 0,5 	<ul style="list-style-type: none"> - täyttökaasua argon molemmissa väleissä - U-arvo 1,0 g-arvo 0,33

Taulukossa 13 on esitetty eri lasielementeillä toteutettujen ikkunaratkaisujen materiaalikustannukset.

Taulukko 13 Perustietoja ikkunoista sekä materiaalikustannus esimerkkikohteessa

	Normilasi	Auringonsuojalasi
Ikkunoiden lkm. esimerkkikohteessa	107	107
Ikkunoiden kok. A (m ²)	279	279
Laselementin hinta (€/m ²)	70	95
Materiaalikustannus (€)	19530	26505

Auringonsuojalasilla toteutettujen ikkunaelementtien materiaalikustannukset suhteessa normilasilla toteutettuun elementtiin ovat **135,7 %** suuremmat. Esimerkkikohteessa tämä tarkoittaisi sitä, että auringonsuojalaselementtien materiaalikustannukset olisivat **6975,0 euroa** korkeammat kuin normilaselementtien materiaalikustannukset.[10.]

Asennuskustannuksissa ei auringonsuojalaselementillä ja normilaselementillä ole eroavaisuutta. Ikkunaelementtien asennuskustannuksiin vaikuttavat pääsääntöisesti lasin paino ja sijainti. Lasien tutkimusten kaltaiset ominaisuuksien eroavaisuudet eivät vaikuta lasielementtien painoon.[10.]

8 TULOSTEN TARKASTELU JA YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia erilaisten rakennuksen kesäaikaista yllämpenemistä ehkäisevien hallintakeinojen vaikutusta astetuntien muodostumiseen rakennuksessa, sekä osoittaa esimerkkirakennuksen vaatimustenmukaisuus E-luvun ja kesäaikaisen yllämpenemisen osilta.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin ja tämän opinnäytetyön avulla saadaan selkeä kuva erilaisten yksittäisten aktiivi- ja passiiviratkaisujen vaikutuksesta mallirakennuksen kesäaikaiseen yllämpenemiseen. Tässä opinnäytetyössä tutkittavat rakennuksen kesäaikaisen yllämpenemisen hallintakeinot olivat sälekaihtimet ikkunoissa, peitelevy ikkunoissa, auringonsuojalasilla toteutetut ikkunat, ikkunoiden 200mm sisäänveto, led-valaistus rakennuksessa, ilmanvaihdon +30% tehostus, ikkunoiden koon -20% pienentäminen sekä tuloilman jäähdytys.

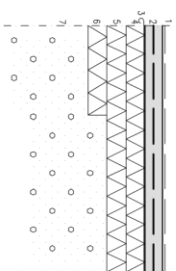

Tulosten perusteella voidaan todeta, että käyttökustannuksien ja hankintakustannuksien kannalta parhaat yllämpenemistä ehkäisevät ratkaisut ovat erilaiset auringonsuojakeinot kuten sälekaihtimet ikkunoissa. Sälekaihtimet ikkunoissa on kustannustehokas ja yksinkertainen vaihtoehto rakennuksen kesäaikaisen yllämpenemisen ehkäisemiseksi vertaillen sitä esimerkiksi tuloilman jäähdytykseen.

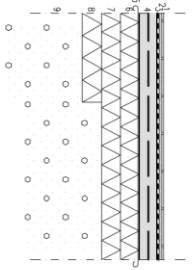

Esimerkkirakennus todettiin suunnitteluratkaisuilla vaatimuksenmukaiseksi E-luvun ja kesäaikaisen yllämpenemisen osilta. Esimerkkirakennukselle löydettiin myös kesäajan huonelämpötiloille asetetun vaatimukset täyttävä, suunnitteluratkaisuista poikkeava ratkaisu yhdistämällä tuloilman jäähdytyksen, ikkunoiden 200mm sisäänvedon ja ikkunalasien toteutuksen aurinkosuojatuilla lasseilla. Toimeksiantaja pystyy hyödyntämään vaihtoehtoista ratkaisua tulevilla vastaavanlaisissa rakennusten kesäaikaisissa huonelämpötilatarkasteluissa.

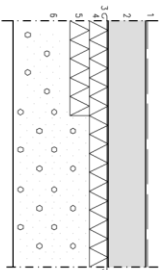

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta, että lasiratkaisuilla toteutetuissa lasielementtien materiaalikustannuksissa on eroja. Voidaan todeta, että huonelämpötilojen hallinta maksaa. Lisätutkimuksena olisi hyvä tarkastella myös muita tässä opinnäytetyössä käytettyjä rakennuksen yllämpenemisen hallintakeinojen kustannuksia.

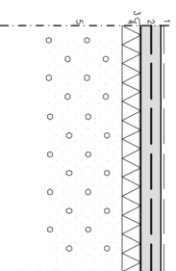

- 1 Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 laskentaopas: Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö.2012.Www-dokumentti.saata-
vissa:<http://www.ym.fi/download/noname/%7B7B8D0893-4715-4FD1-B685-D2B71D6A6559%7D/31274> [viitattu 2.2.2018].
- 2 Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. 2017.Www-dokumentti. saata-
vissa:<http://www.ym.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872> [viitattu 2.2.2018].
- 3 Sandberg, E. Sisäilmasto ja ilmanvaihtojärjestelmät: ilmastointekniikka osa 1.Talotekniikka julkaisut Oy.2014.
- 4 Rakenteiden lämpötekniikka. Sisäilmayhdistys. Luettu 20.02.2018. Www-dokumentti.Saataavissa:<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka> [viitattu 20.2.2018].
- 5 Kurnitski, J. Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostoissa. Muokattu 2015.Www-dokumentti.saata-
vissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080304.pdf> [viitattu 3.3.2018].
- 6 Sandberg, E. Ilmastointilaitoksen mitoitus: ilmastointitekniikka osa 2..Talotekniikka julkaisut Oy.2014.
- 7 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Energiatehokkuus, rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. 2017.Www-dokumentti. saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692> [viitattu 5.3.2018].

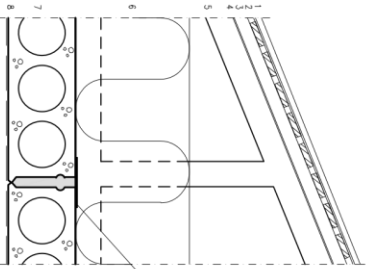

- 8 Riuska, Tehokasta olosuhde- ja energiasimulointia. Granlund. Luettu 18.02.2018. Www-dokumentti. saatavilla: <http://www.granlund.fi/ohjelmistot/riuska/> [viitattu 15.2.2018].
- 9 Hämäläinen, H. Sähkösuunnittelija. Haastattelu 15.02.2018. Granlund Saimaa Oy.2018.
- 10 Ylikännö, J. Tekninen myyjä. Haastattelu 21.02.2018, SelOy. 2018.

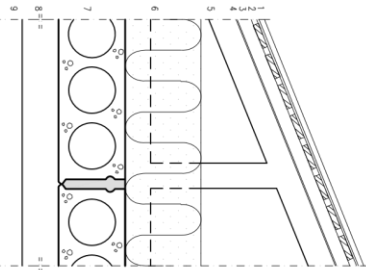

		1 PINNOTE TAI PINTAKÄSTELY 2 TERÄSREIÖN RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN, BY 45: LUOKKA B-4-30 3 SUODATINKANGAS (N2) 4 EPS 100 LATTIA 75mm } SÄMÄT LIMIETÄÄN 5 EPS 100 LATTIA 75mm } 6 EPS 100 LATTIA 75mm, Imin REUNA-AUEILLA 7 TIIVISTETTY SORA, RAEKOKO 2.60, TIIVIS $\geq 90\%$ 8 YLIN 300 mm SALAOJASORA, SALAOJASORAKER- ROKSEEN SUOJETAIAN RADONIN POSTIOPUKITUS (ASUIN- JA TYÖTILAT) TIIVISTYS RT-KORTIN 81-10791 MUKASESTI U-ARVO: 0,15 W/m ² K
ALAPOHJAT YLEISÄ		Ap 1

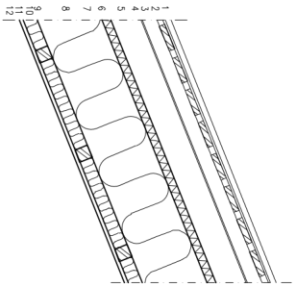
		1 KERÄMÄSET LAATAT 2 VEDENKESTÄVÄ KINNITYSVAISTI 3 VEDENKESTÄVÄ TUOTEKORJAUSTEN OHJEIDEN MUKASESTI ASENNUTUJA 4 TERÄSREIÖN RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN, BY 45: LUOKKA B-4-30 5 SUODATINKANGAS (N2) 6 EPS 100 LATTIA 75mm } SÄMÄT LIMIETÄÄN 7 EPS 100 LATTIA 75mm } 8 EPS 100 LATTIA 75mm, Imin REUNA-AUEILLA 9 TIIVISTETTY SORA, RAEKOKO 2.60, TIIVIS $\geq 90\%$ 10 YLIN 300 mm SALAOJASORA, SALAOJASORAKER- ROKSEEN SUOJETAIAN RADONIN POSTIOPUKITUS (ASUIN- JA TYÖTILAT) TIIVISTYS RT-KORTIN 81-10791 MUKASESTI U-ARVO: 0,15 W/m ² K
ALAPOHJAT KOSTEIDEN TILOJEN KOHILLA YLEISÄ		Ap 2

		1 PINNOTE TAI PINTAKÄSTELY 2 TERÄSREIÖN RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN, BY 45: LUOKKA B-4-30 3 SUODATINKANGAS (N2) 4 EPS 100 LATTIA 75mm 5 EPS 100 LATTIA 75mm, Imin REUNA-AUEILLA 6 TIIVISTETTY SORA, RAEKOKO 2.60, TIIVIS $\geq 90\%$ U-ARVO: 0,24 W/m ² K
VÄESTÖSUOJAAN ALAPOHJA		Ap 3

		1 PINNOTE TAI PINTAKÄSTELY 2 TERÄSREIÖN RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN, BY 45: LUOKKA B-4-30 3 SUODATINKANGAS (N2) 4 EPS 100 LATTIA 75mm 5 TIIVISTETTY SORA, RAEKOKO 2.60, TIIVIS $\geq 90\%$ YLIN 300 mm SALAOJASORA, U-ARVO: 0,20 W/m ² K
AUTOHALIN LATTIA		Ap 4

		1 KONESÄMÄTÄTÄ MUOVIPINNUTETTU PE-TI 2 RUODELAUDOTUS 22x100 K150, RAKSTÄLÄ 22x100 K105 HARJALÄ 0,5x0,5 m LEFTEDELLÄ ILMAPÄÄTÖTUS 3 TUULETETTU ILMARAKO, 50x50 KÄÄTÖTÖIDEN KOHILLE 4 ALUSKATE 5 KÄNTÄVÄT PUURAKENNETT RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN 6 PUHALUSERISTE 7 ONTELALATAT RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN 8 PINTAKÄSTELY TAI -VERHOUS HIDOK, LÄMMÖNKESTÄVÄ PÄÄLLYSTÖSSÄ KUOROTAVÄ PÄÄLLYSTÄVÄ SEKÄ HIDOKTAVÄ, ETÄ SUUNNITELTU BRISTÄKÄSTÄVÄ TULEE MÖKS IV-KÄÄVÄN KOHILLE, KÄÄVÄN BRISTÄ KÄS. IV-SUUNNITELMÄN. U-ARVO: 0,09 W/m ² K
YLÄPOHJAT YLEISÄ		yp 1

		1 KONESÄMÄTÄTÄ MUOVIPINNUTETTU PE-TI 2 RUODELAUDOTUS 22x100 K150, RAKSTÄLÄ 22x100 K105 HARJALÄ 0,5x0,5 m LEFTEDELLÄ ILMAPÄÄTÖTUS 3 TUULETETTU ILMARAKO, 50x50 KÄÄTÖTÖIDEN KOHILLE 4 ALUSKATE 5 KÄNTÄVÄT PUURAKENNETT RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN 6 PUHALUSERISTE 7 ONTELALATAT RAKENNEPIRUSTUSTEN MIKÄÄN 8 TUULETETTU ILMARAKO 9 PUUKOOLAUUS 100x50 K600 10 PÄNELI HIDOK, LÄMMÖNKESTÄVÄ PÄÄLLYSTÖSSÄ KUOROTAVÄ PÄÄLLYSTÄVÄ SEKÄ HIDOKTAVÄ, ETÄ SUUNNITELTU BRISTÄKÄSTÄVÄ TULEE MÖKS IV-KÄÄVÄN KOHILLE, KÄÄVÄN BRISTÄ KÄS. IV-SUUNNITELMÄN. U-ARVO: 0,09 W/m ² K
YLÄPOHJAT KIRPUHOIEN KOHILLA		yp 2



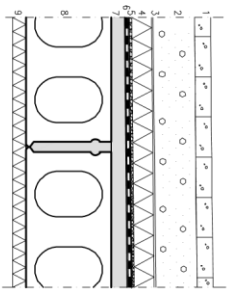
- 1 KONESALMAUTTU MUONPINNOITETTU PU-
2 RUODELAUDOTUS 22x100 K130, RÄYSTÄLÄ 22x100 K105
HARJALÄÄ 0,5x10,5 m, LENTOKELÄX UMPILAUDOTUS
- 3 TUULETUTTU LÄMÄRÄKÖ-50x50 KÄYTÖTUULEN KORJALLE
- 4 AUKKATE
- 5 TUULETUSÄLÄ
- 6 ISOVER RCL-31 FACADE
- 7 KÄNTÄVÄ PUURAKENTEET RAKENNEPIRUSTUSTEN MUKAAN
- 8 ISOVER KL-33
- 9 MUON O2, SAUMAT LÄMITYS ≥ 100 JA TERÄSPÄTÄ
- 10 ISOVER KL-33, PUURKOLAUS 50x50 K400
- 11 KIPSILEYTY
- 12 PINNÄKÄSITELY TAI -VERHOUS

U-ARVO: 0,14 W/m²K

IV-KONEHUONEEN YLÄPOHJA



yp 4



- 1 PINTARAKENTEET RAKENNUSSUJELUTYKSEN MUKAAN
- 2 SORA/HEIKKA ≥ 50
- 3 SUODATINKANGAS KL2
- 4 XPS 30mm
- 5 SALAOTUSMAITO, EKKADRAIN 5004C/T110PP
- 6 VEDENERISTYS ALTA LUKEN:
- 7 TÄRTOUNRÄJÄTÄLÖS BIL 20/85
- 8 K-TÄMS 170/3000 KÄYTÄTÄLÄN LÄMÄTEN
- 9 BITUMISIVELY BP 100/50 1,5 kg/m²
- 50...150 7 KÄLSTUSBETONI 50 – max 150 mm, VERKKO 6-150 B500K
- 320 8 KÄLSTUSBETONI 50 – max 150 mm, VERKKO 6-150 B500K
- 9 KÄLSTUSBETONI 50 – max 150 mm, VERKKO 6-150 B500K
- 9 PINTÄKÄSITELY ARK-PIIR- MUKAAN

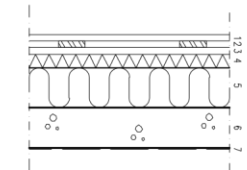
joko SORA max. 200mm
tai MULLA max. 500mm
TÄLTYMÄLLÄ ARVOLLIA KEVENNYS

U-ARVO: 0,14 W/m²K

AUTOHALLIN YLÄPOHJA RAKENNUKSEN UKPOLOLELÄ



yp 5



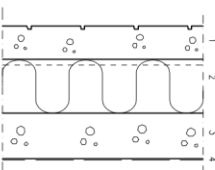
- 1 PYSTYPANEELI ARKITEHTIPIRUSTUSTEN MUKAISESTI
- 2 LÄMÄRÄKÖ, PYSTYKOLAUS 25x100 K<600
- 3 LÄMÄRÄKÖ, VÄÄKÄKOLAUS 25x100 K<600
- 4 ISOVER RCL-31 FACADE
- 5 ISOVER KL-32, PUURUKKO 150x50 K<600
- 6 KÄNTÄVÄ TERÄSBETONILEMENTTI RAKENNE-
PIRUSTUSTEN MUKAAN
- 6 PINTÄKÄSITELY TAI -VERHOUS

U-ARVO: 0,17 W/m²K

PANEELIPINNAISET UKKOSEINÄT



us 2



- 1 URITETTU TERÄSBETONI
- 2 PAROC COS 50qf 220mm
- 3 KÄNTÄVÄ TERÄSBETONI
- 4 PINTÄKÄSITELY TAI -VERHOUS

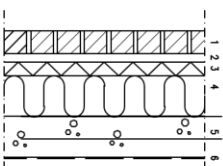
455

U-ARVO: 0,17 W/m²K

POHJAKERROKSEN SANDWICH SEINÄT



us 3



- 1 TILU
- 2 LÄMÄRÄKÖ
- 3 ISOVER RCL-31 FACADE
- 4 ISOVER KL-32, PUURUKKO 150x50 K<600
- 5 KÄNTÄVÄ TERÄSBETONILEMENTTI RAKENNE-
PIRUSTUSTEN MUKAAN
- 6 PINTÄKÄSITELY TAI -VERHOUS

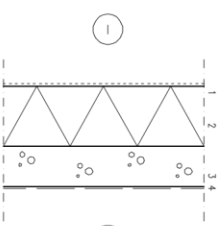
U-ARVO: 0,17 W/m²K

UKKOSVUURAUUS SÄDÖTÄÄN TÄLSTÄSENÄN
RUSTUAMATTOMIN SIEIN ≥ 4 KPL/M²

UKKOSEINÄT, MUURAUUS



us 1



- 1 RÄPPÄUS
- 2 LÄMÖNERISTE, ESM, PAROC FAL1,
ERISTEEN KINNITTÄS VALMISTAJAN
OHJEIDEN MUKAAN
- 3 TERÄSBETONILEMENTTI
RAKENNEPIRUSTUSTEN MUKAAN
- 4 PINTÄKÄSITELY TAI -VERHOUS

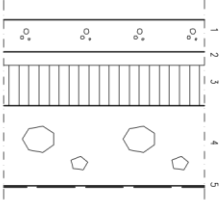
– Eristerapauksen rappausverkko kuumosmittä, kinnikkeet RST,
muut materiaalit, liittymädetiöit ja työohjeet rappausjärjestämisohjeistojen
työsuojuksen mukaan

LÄMÖNLÄPÄYSSYKKEERON: 0,16 W/m² K, SNK C3-2010 vaatimus 0,17
PALOLUOKKA: REI 60

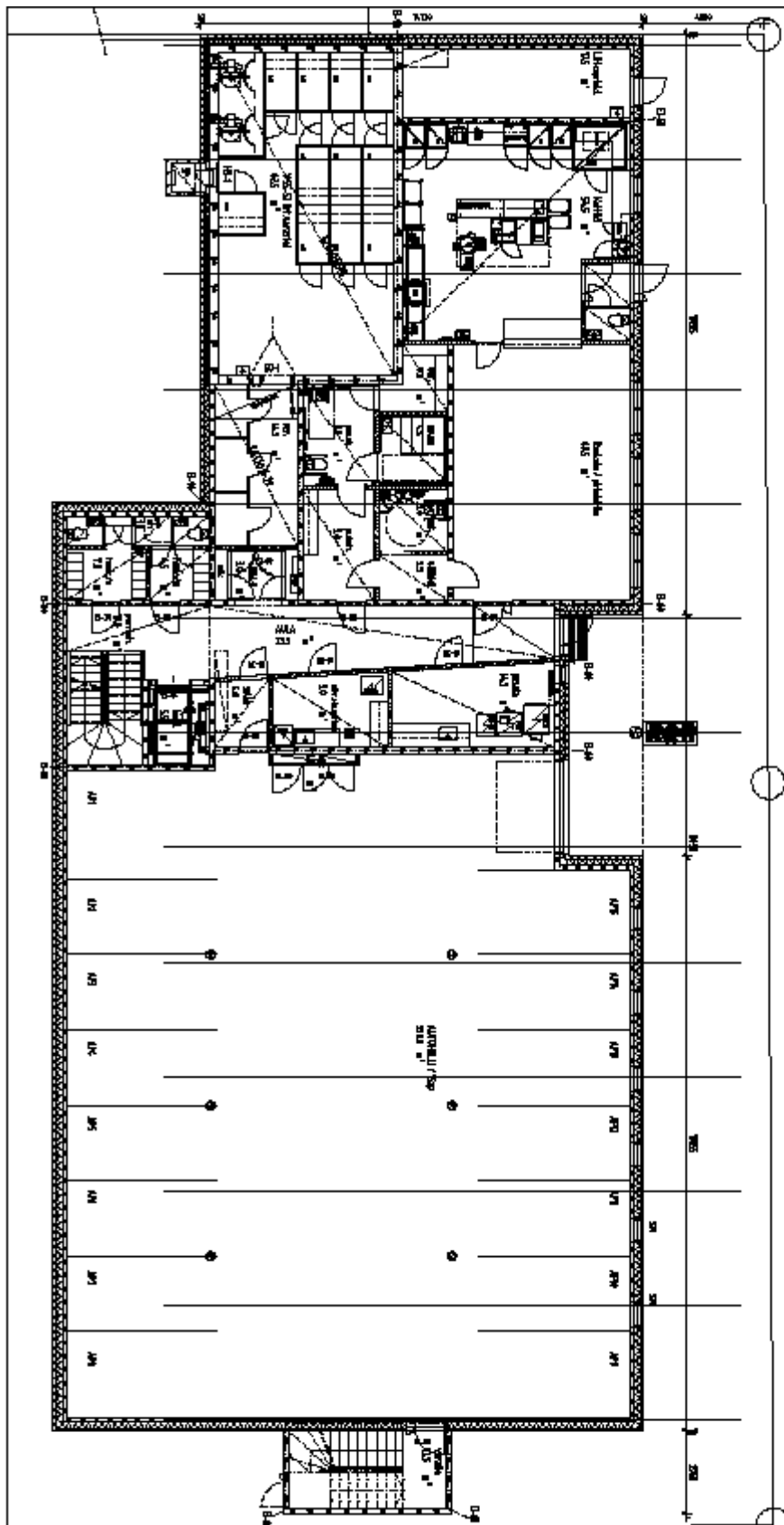
KERROSTEN PITKÄN SIEINÄT YLEENSÄ



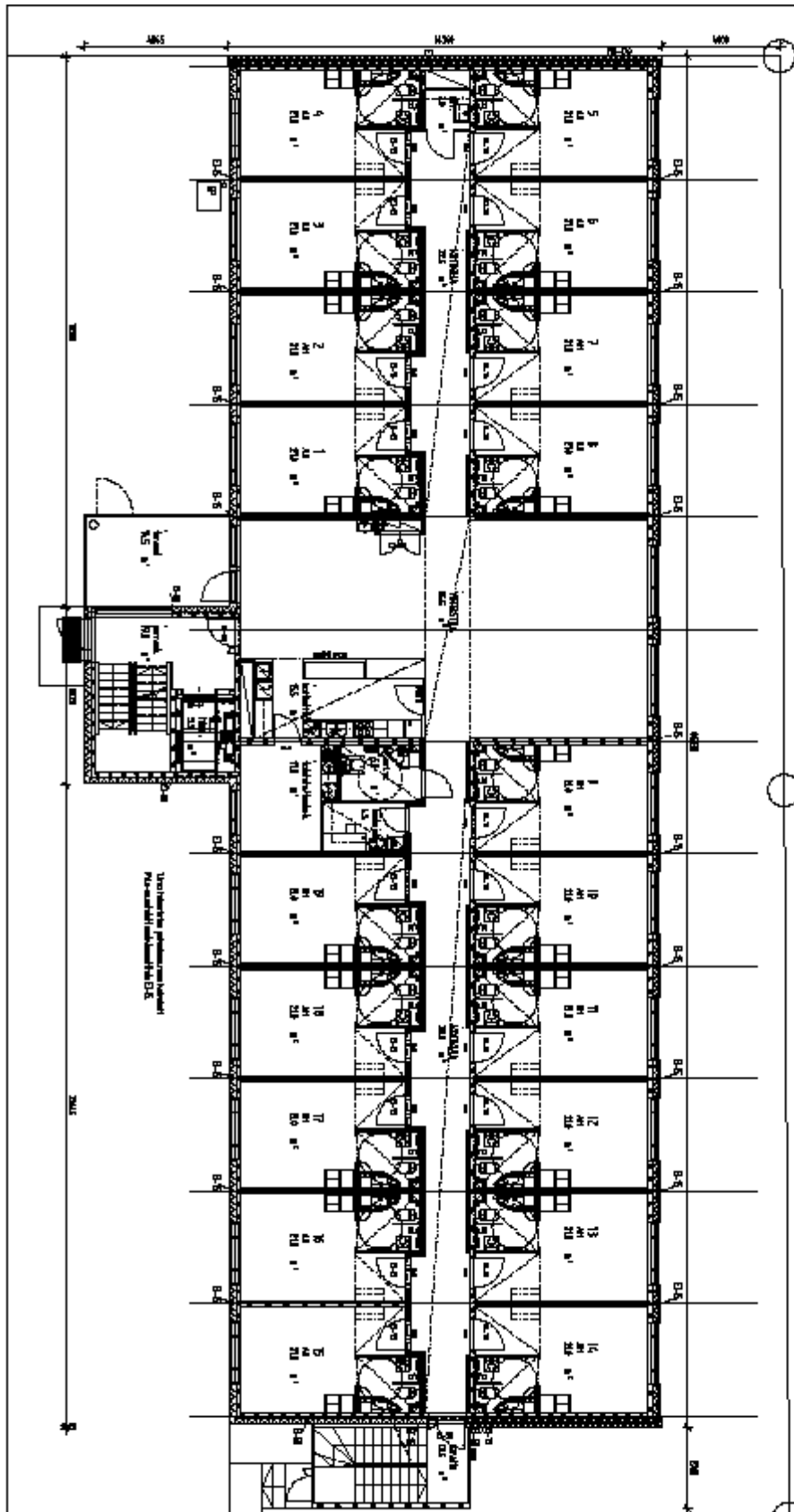
us 4

<div><div><div>85</div><div>50</div><div>150</div><div>300</div></div><div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div><div>5</div></div><div><div>TERÄSBETON, ELEMENTTIRIISTUSTEN MUKAAN</div><div>ILMAVAKO 50</div><div>KINGS PAN THERMA TWS7</div><div>KANTAVA TERÄSBETONILEMENTTI</div><div>RAKENNEPIIRUSTUSTEN MUKAAN</div><div>PINTAKÄSITTELY</div></div><div><div>620/585</div><div>U-ARVO: 0.17 W/M²K</div></div></div>			
VÄESTÖSUUNNITUKSEN KÄSITTELY		<div><div>KPS</div><div>US 5</div></div>	

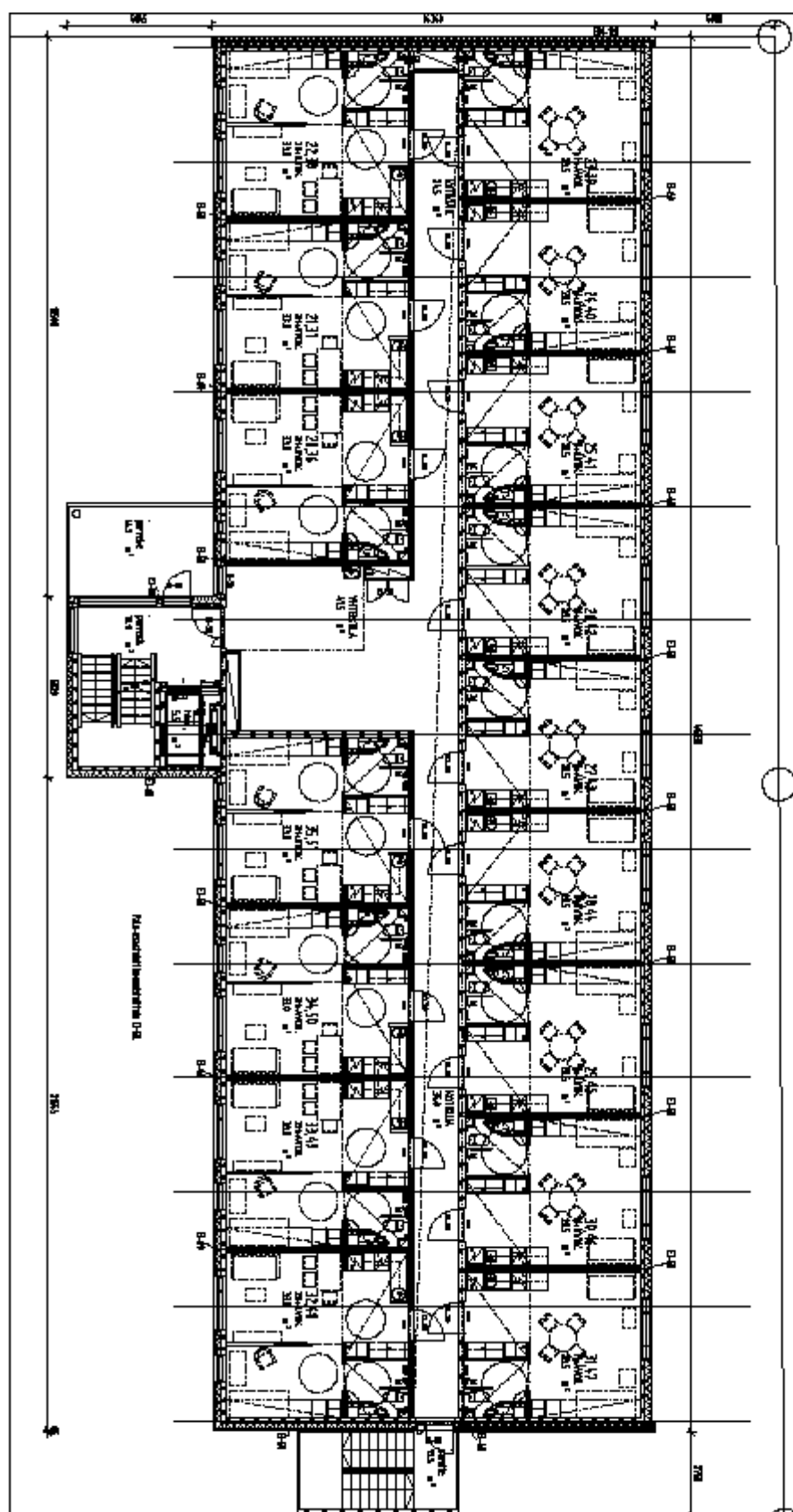
TAIPALSAARENTIE Kellarikerros



TAIPALSAARENTE 1. kerros



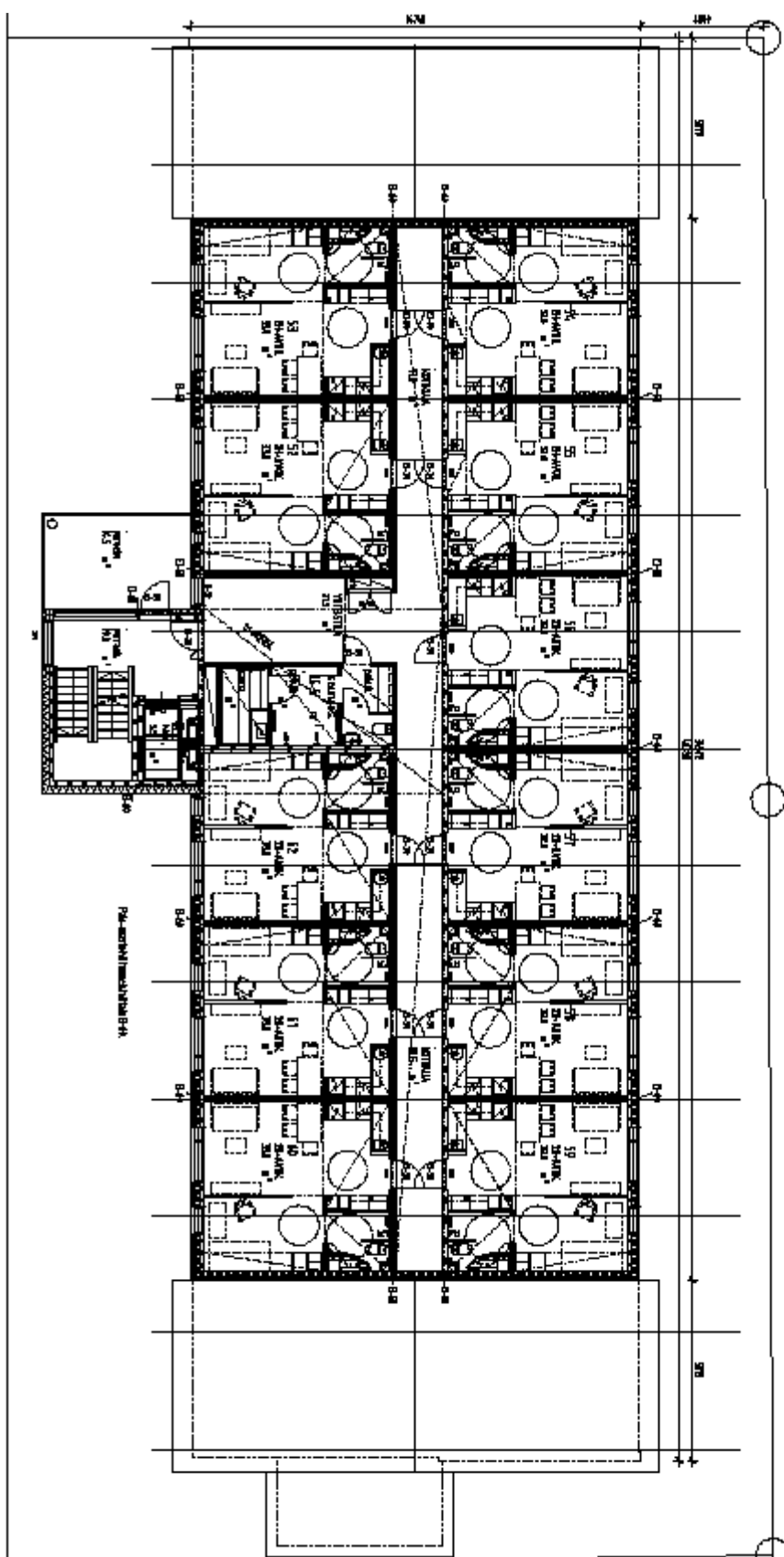
TAIPALSARENTE 2. ja 3.kerros



TAIPALSAARENTIE

4.kerros

39



Vesikatto

